

УДК 621.746.628.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КВАРЦИТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Киселева А.В.

Научный руководитель старший преподаватель кафедры МиТОМ

Кукарцев В. А.

*Сибирский федеральный университет*

Для футеровки inductionных печей ИЧТ применяется футеровочная масса, состоящая из кварцита и борной кислоты. Она называется кислой футеровкой. Кислую футеровку изготавливают из кремнеземистых огнеупорных материалов (кварцевого песка, кварцита) с содержанием окиси кремния не менее 93-98%. В качестве связующего (упрочняющего) материала применяют раствор борной кислоты или борный ангидрид. Зерновой состав огнеупорной массы: 5% зерен 3-2 мм, 50% зерен 2-0,5 мм, 45% зерен < 0,5 мм.

### Достоинства кислой футеровки:

1. Устойчивость к воздействию жидкого металла при его рабочей температуре и случайном ее повышении.
2. Выдержка рабочих температурных циклов и повторное расплавление металла после затвердевания.
3. Достаточная механическая прочность в холодном состоянии и при рабочей температуре плавки, без значительной потери механических свойств.
4. Возможность удаления футеровки без повреждения индуктора после окончания срока службы.
5. Стабильность размеров в процессе эксплуатации печи.
6. Сопротивляемость эрозии и коррозии.
7. Низкая стоимость.

### Недостатки кислой футеровки:

1. Нельзя плавить шихту с содержанием > 2% Mn, так как он вступает в реакцию с кремнием, что сопровождается интенсивным разрушением.
2. Так же влияет и повышенное содержание алюминия в шихте поэтому необходимо сортировать шихту. Исходя из этого при использовании кислой футеровки нельзя плавить легированные марки чугунов.
3. Плохо выдерживает резкие перепады температуры, поэтому нельзя производить полный слив металла из печи.

Основным составляющим кислой футеровки inductionных печей является кварцит.

**Кварцит** - метаморфическая горная порода, состоящая в основном из кварца.

Кварциты – продукты перекристаллизации кварцевых песчаников и других кремнистых отложений или замещения кварцем пород исходного состава.

В зависимости от места рождения они могут иметь следующий состав, в котором кроме диоксида кремния все остальное является примесями.

Наименование показателя	%
SiO <sub>2</sub>	97-99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-1.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2-0.7
В том числе железо металлическое	Не >0,3
MnO	0.013-0.2
CaO	0.05-0.11

TiO <sub>2</sub>	0.03-0.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01-0.03
Na <sub>2</sub> O	0.05-0.08
K <sub>2</sub> O	0,05-0,08

Кварц - одна из разновидностей диоксида кремния или кремнезема (SiO<sub>2</sub>), которая наиболее широко встречается в природе и находит большое применение в керамической, стекольной и огнеупорной промышленности. При нормальных условиях он распространен в виде α-кварца.

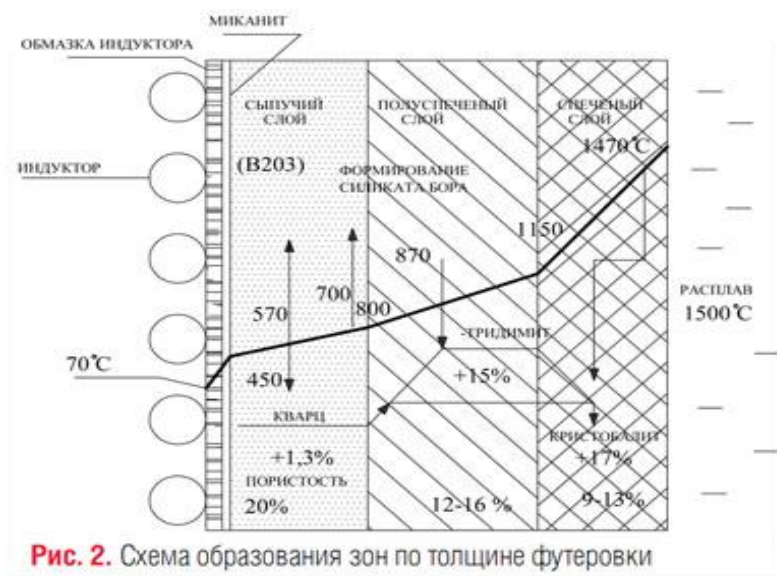
В природе наряду с α-кварцем встречаются и другие модификации: γ-тридимит и β-кристобалит. Встречающиеся в природе кристаллические модификации кремнезема при нагревании претерпевают полиморфные превращения.

**Последовательность фазовых переходов в системе SiO<sub>2</sub> выглядит следующим образом :**

	870°C		1470°C		1728°C	
α - кварц	↔	α- тридимит	↔	α- кристобалит	↔	расплав
↓ ↑ 573°C		↓ ↑ 163°C		↓ ↑ 230°C		
β - кварц		β - тридимит		β - кристобалит		
		↓ ↑ 117°C				
		γ - тридимит				

Для обеспечения высокого срока службы футеровки необходимо выполнить ее с высокой степенью уплотнения 2,5 , что является достаточно трудновыполнимой задачей.

После ее спекания необходимо добиться образования трех зон различных состояний одного и того же материала на расстоянии толщины футеровки между расплавом и индуктором:



1. монолитно спеченная, расположенную в непосредственной близости от расплава, которая получается за счет спекания порошкообразного огнеупорного материала после необходимого температурного цикла. Смесь кварцита с борной кислотой связывается, и образуется стеклоподобный монолит, который состоит, преимущественно, из зерен кристобалита, соединенных стекловидной фазой – боросиликатом. Материал в этой

зоне обладает высокой механической прочностью. Низкая пористость способствует противостоянию металла и шлака за счет малой величины площади контакта;

2. *промежуточная*. В ней, преимущественно, кварцевые зерна связаны стекловидным телом;

3. *буферная*, представляющую собой сыпучий материал, предотвращающий проникновение металла к индуктору. Находится на холодной стороне стенки футеровки. Состоит из несвязанных кварцевых зерен. Пористость этой зоны максимальная. Наличие порошкообразной зоны положительно с точки зрения возможности застывания и, следовательно, остановки металла, проникшего через трещину в двух предыдущих зонах. Также этот слой хорошо поглощает силы, возникающие при термических деформациях. Все материалы применяемые для футеровки печи должны соответствовать стандартам, пройти контроль и не должны содержать в себе посторонних примесей.

### **Футеровка изготавливается следующим образом:**

1. Прокалка кварцита – ее необходимость объясняется тем, что полученный кварцит от поставщика, может содержать до 10 % влаги, а для изготовления футеровки максимальное содержание влаги не должно превышать 0,3.

2. Затем производится перемешивание кварцита с борной кислотой.

Изначально футеровка изготавливалась в ручную достаточно длительное время (ролик), процесс сопровождался большим выделением пыли. К 90-м годам появилось зарубежное оборудование, что позволило ускорить и усовершенствовать процесс изготовления футеровки. (ролик, вибраторы донные и боковые)

Стойкость футеровки по чугуну составляло 300-350 плавов.

Далее последовало еще большая механизация процесса изготовления футеровки, обеспечивающая максимальное уплотнение футеровки, и улучшение условий труда с помощью установок, но заметного увеличения стойкости футеровки это не дало (ролик, с помощью установки).

Кроме высокой степени уплотнения на стойкость футеровки влияют и примеси в исходном материале.

Поэтому последние годы стало уделяться большое внимание качеству самого кварцита, особенно за рубежом. Так в России монополист кварцита для индукционных печей в соответствии с ТУ1511-022-00190495-2003, гарантирует только следующие свойства:

### **«Первоуральский кварцит»**

Наименование показателя	Норма,
SiO <sub>2</sub>	97.5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> не более	1.3%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> не более	0,6%
FeO не более	0,3%
Огнеупорность, °С, не ниже	1730
Массовая доля влаги, не более	0,3%

Однако некоторые иностранные фирмы ввели еще ограничение на содержание K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O

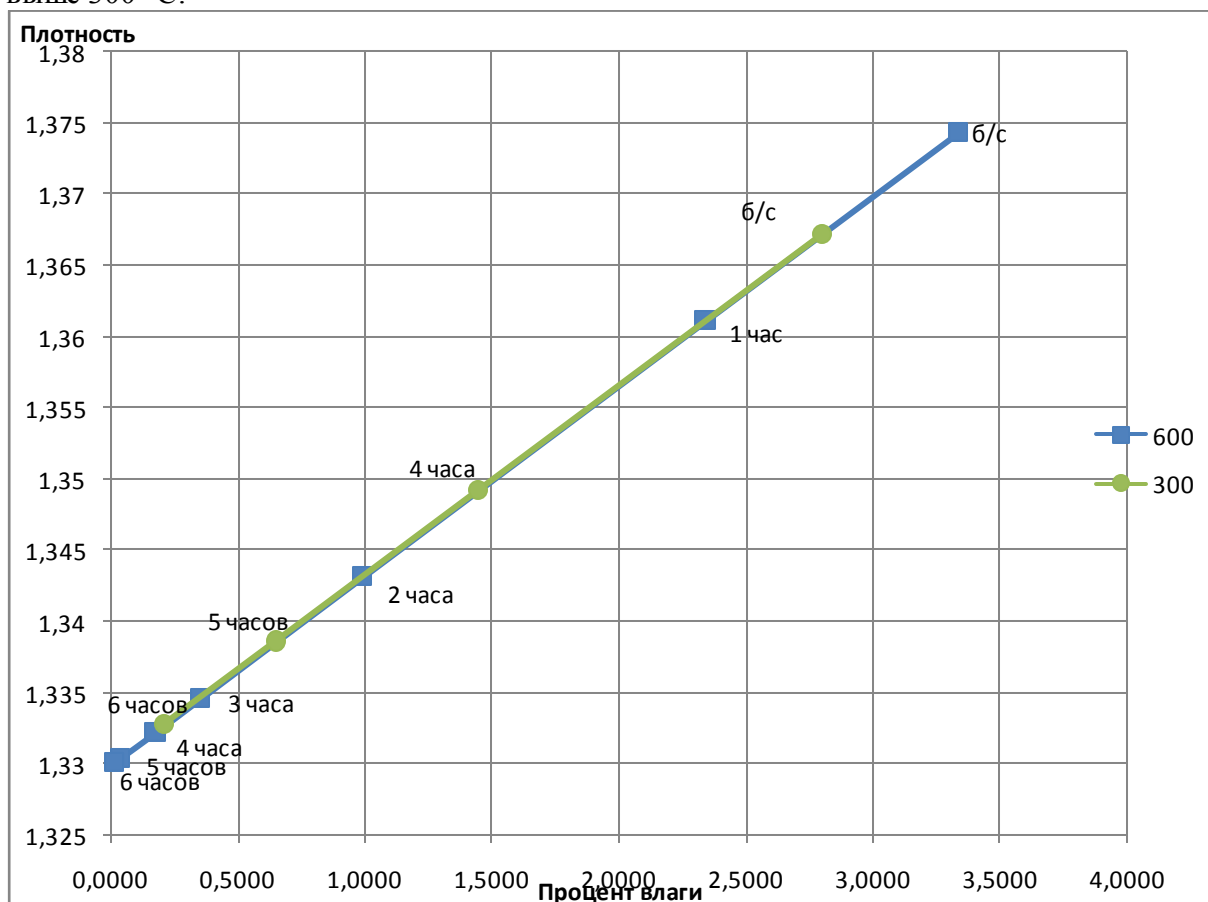
Например **Sibelco Nordic OY AB (Финляндия),**  
**Набивная масса FINMIX**

Химический состав	
SiO <sub>2</sub>	98.8%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07%
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	0.15%

В начале 2000 годов при использовании сырого первоуральского кварцита стойкость футеровки резко упала и причиной явилось изменение его цвета во время сушки по установленному, еще с 70-х годов прошлого века, режиму прокали - нагрев до 800°C и выдержка 6 часов. Была выдвинута версия, что причиной этого явилось увеличение содержания каких-то примесей. Для этого было проведено исследование на приборе Bruker D8 ADVANCE (Германия), но никаких изменений содержания элементов в исходном материале и после прокали он не показал, а выдал информацию о превращении β-квца в low-quartz.

После этого были проведены исследования, заключающиеся в изменении режима прокали. Изменились температура и время, необходимые для получения влажности кварцита не более 0,3%. Исследования проводились с применением нагревательной печи СНО – 3х6х2/10 и 2 и электронных весов ВЛКТ–500г–М.

Исследованиями установлено, что изменение цвета происходит при температуре выше 300 °С.



На традиционных диаграммах это превращение при нагреве не отражено и исследования причин этого превращения не проводилось. Для устранения этого

явления предложено изменить режим сушки кварцита при температуре 300°C в течении 6 часов.